

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Bakalářská práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Měření a vyhodnocování parametrů noční oblohy

Measurement and evaluation of the light parameters under night sky

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Adam**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Měření a vyhodnocování parametrů noční oblohy
Measurement and evaluation of the light parameters under night sky

Zásady pro vypracování:

1. Vyhodnocování nízkých jasů
2. Dynamika jasů noční oblohy
3. Kvantifikace vyzařování světelného toku do horního poloprostoru
4. Jasová analýza noční oblohy nad průmyslovou aglomerací

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999,
- [2] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU

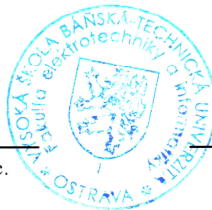
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

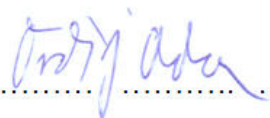



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta :

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Šumperku 3. května 2012



.....
podpis

Poděkování :

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. a Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za ochotné vedení práce, cenné rady, připomínky a odbornou pomoc, které mi poskytli v průběhu řešení bakalářské práce. Děkuji své rodině a přátelům za podporu a za doprovod v terénu.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá způsoby měření jasu noční oblohy a vlivem osvětlení na ní. V první části se práce zabývá možnostmi měření nízkých hodnot jasů, které byly doplněny o astronomické metody, kterých se problematika zvyšování jasu oblohy přímo dotýká. V další kapitole je popsána dynamika jasu v atmosféře a její vlivy v různých částech osídlení. V následující kapitolách jsou popsány vlivy svítidel a kvantifikováno množství světelného toku vyzářeného na oblohu. Praktická část je věnována vlastnímu měření a pozorování ve třech lokalitách v okolí města Šumperk, kdy byly zmapovány hodnoty jasu noční oblohy.

Klíčová slova

Jas oblohy, kontrast, jasový analyzátor, jasnost, magnituda, činitel odrazu, světelný zdroj, absorpce, svítidlo

Abstract

The bachelor thesis deals with the ways of measurement of the nocturnal sky luminosity and the influence on it. In the first part the thesis deals with the possibilities of measurement of low values of the luminosity, to which the astronomical methods are added. The studied issue is related to these methods. In the next chapter the dynamics of the luminosity in the atmosphere and the influences in the different inhabited parts are described. In the following chapters the influences of luminaires are presented and what is more, the quantity of luminous flow in the sky is quantified. The practical part is devoted to the measurement and observation in the three localities in the neighbourhood of Šumperk, where the nocturnal sky values were measured.

Key words

Sky-luminance, contrast, brightness analyser, brightness, magnitude, reflectance, luminous resource, absorption, luminaire

Seznam použitých značek a symbolů:

ϕ	[lm]	celkový světelný tok
ϕ_{α}	[lm]	absorbovaný světelný tok
ϕ_{ρ}	[lm]	odražený světelný tok
ϕ_{τ}	[lm]	prostupující světelný tok
ϕ_{sv}	[lm]	světelný tok svítidla
ϕ_z	[lm]	instalovaný světelný tok
ϕ_o	[lm]	světelný tok vyzářený na oblohu
ϕ_D	[lm]	světelný tok vystupující do dolního poloprostoru
ϕ_H	[lm]	světelný tok vystupující do horního poloprostoru
α	[-]	činitel absorpce
ρ	[-]	činitel odrazu
τ	[-]	činitel prostupu
η	[-]	účinnost svítidla
λ	[nm]	vlnová délka
ν	[Hz]	frekvence
Ω	[Sr]	prostorový úhel
C	[-]	faktor závisející na sv. toku dle počtu obyv. a dalších proměnných
d	[m]	vzdálenost místa měření
E	[lx]	osvětlenost
I	[cd]	svítivost
K	[-]	kontrast jasů
L	[cd · m ⁻²]	jas
L_a	[cd · m ⁻²]	jas rozlišovaného předmětu
L_b	[cd · m ⁻²]	pozadí
m	[mag]	hvězdná velikost
m_v	[mag]	vizuální hvězdná velikost
S_p	[m ²]	plocha
MHV		Mezní hvězdná velikost
ČR		Česká republika
ČSN		Česká státní norma
např.		například
tzn.		to znamená
V_{λ}		spektrální citlivost oka
airglow		velmi slabé, přirozené záření svrchních vrstev atmosféry
SQM		Sky Quality Meter

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Vyhodnocování nízkých jasů	2
2.1.	Jas	2
2.2.	Vnímání jasů.....	2
2.3.	Konvenční měření jasu	3
2.4.	Jasové analyzátory	3
2.5.	Přístroje pro měření nízkých úrovní jasů.....	4
2.5.1.	CCD kamera G2-4000.....	4
2.5.2.	Canon EOS 350D	5
2.5.3.	Měřicí přístroje Unihedron – Sky Quality Meter	6
2.6.	Astronomické metody měření jasu	8
2.6.1.	Vizuální metody	9
2.6.2.	Určování MHV (mezní hvězdné velikosti) podle obrazců nebo přímou metodou.....	9
2.6.3.	Hodnocení oblohy podle Bortle	9
2.6.4.	Fotografická metoda a měření fotoelektrickým fotometrem.....	11
2.6.5.	Měření z oběžné dráhy	11
3.	Dynamika jasů noční oblohy.....	13
3.1.	Závojevý jas oblohy	13
3.1.1.	Odras Světelného záření.....	14
3.1.2.	Absorpce světelného záření.....	14
3.1.3.	Prostup světelného záření.....	15
3.2.	Přírodní obloha v noci	15
3.3.	Umělé zvyšování jasu nočního nebe.....	15
3.4.	Jas nebe v aglomeraci	16
4.	Kvantifikace vyzařování světelného toku do horního poloprostoru	17
4.1.	Rozložení světelného toku svítidel	17
4.2.	Kvantifikace světelného toku vyzářeného na oblohu	18
4.3.	Závislost populace města a jasu oblohy.....	19
4.4.	Omezení světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru.....	20
5.	Jasová analýza noční oblohy nad průmyslovou aglomerací	22
5.1.	Měření jasu noční oblohy v okrese Šumperk.....	22
5.2.	Vyhodnocení naměřených dat	26
6.	Závěr	27

1. Úvod

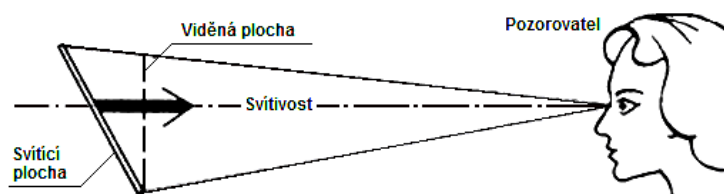
Pojem rušivého světla (světelné znečištění) je v odborné společnosti velmi známý. Mezi jeho projevy patří zvýšený jas oblohy projevující se zhoršující viditelností kosmických těles a bezesporným vlivem na faunu a flóru, různé formy oslnivého světla, světelný přesah (světlo osvětlující plochy mimo určenou oblast), zvýšená spotřeba elektrické energie. Kvantifikovat jas oblohy je narození od klasického měření jasu mnohem problematictější. Osoba provádějící tato měření musí zohlednit přírodní vlivy (např. oblačnost, fázi a vzdálenost měsíce). V následujícím textu jsou popsány prostředky a postupy pro tato měření.

2. Vyhodnocování nízkých jasů

2.1. Jas

Jas je vjem světlosti nebo osvětlovaného tělesa vnímaný lidským okem, jako fotometrická veličina vychází z poměru svítivosti a odpovídajícího poměru viditelné plochy. Označuje se L a udává se v cd/m^2 (kandelách na m^2). Můžeme jej vyjádřit jako:

$$L = \frac{I}{S_p} [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$$



Obr.1 Vnímání jasů lidským okem [2]

2.2. Vnímání jasů

Přeměna světelné energie na energii nervových vzruchů probíhá ve vnějších segmentech fotoreceptorů za účasti zrakových pigmentů. V sítnici jsou čtyři druhy fotopigmentů, z nichž tři jsou vázány na čípky a jeden na tyčinky. Čípků je v oku 6,5 milionů, tyčinek 125 milionů. V sítnici nejsou rozloženy rovnoměrně. Ve střední části sítnice je více čípků než tyčinek; čípků radiálním směrem ubývá, takže na okraji převládají tyčinky. Žlutá skvrna obsahuje jen čípky, které umožňují barevné vidění. Čípky jsou na světlo méně citlivé než tyčinky; tyčinky však nejsou citlivé na barvu světla.

Čípky mohou být v plné činnosti při jasech větších než $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, tj. při **fotopickém** vidění (čípkovém). Při jasech menších než $10^{-3} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ zůstávají v činnosti jen tyčinky – vidění skotopické (tyčinkové) v šeru. Při **skotopickém** vidění jsme barvoslepi. Přechodným stavem je vidění **mesopické**, při kterém se v závislosti na intenzitě osvětlení uplatní tyčinky i čípky; je však namáhavé.

Schopnost člověka rozlišit různé předměty je dána tzv. **kontrastem jasů – K**:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} [-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}] \quad [1]$$

L_a - Jas rozlišovaného předmětu, L_b - Jas pozadí

2.3. Konvenční měření jasu

Jedná se o přístroje, které pomocí speciální optiky, která je vymezena pod určitým prostorovým úhlem nám soustředí světelný tok na plochu fotočlánku.

Pro měření této veličiny se začalo využívat objektivních jasoměrů, které se skládají z fotočlánku, který je opatřen optickou soustavou clonících a fokusačních prvků. Na ploše fotočlánku měřený jas vytvoří osvětlenost E , která je úměrná světelnému toku dopadajícímu z jasné plochy, kterou měříme. Generovaný fotoproud úměrný tomuto světelnému toku. Je měřen citlivým měřicím zesilovačem, v jednodušším případě citlivým galvanoměrem. Střední jas L plochy vymezené prostorovým úhlem Ω na sledovaném povrchu určíme vztahem:

$$L = \frac{E}{\Omega} \text{ [cd} \cdot \text{m}^{-2} \text{; lx, sr]}$$

L – střední hodnota jasu měřené plochy vymezená optikou přístroje v celkové závislosti od měřené plochy

Běžně se rozlišují dva typy jasoměrů, a to bodový a integrační. Za bodové jsou považovány jasoměry s malým zorným (prostorovým) úhlem, řádu jednotek úhlových minut. Integrační jasoměry měří jas jako průměrnou hodnotu ve větším zorném poli. Jejich použitelnost se pohybuje cca do $0,01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. [1]

2.4. Jasové analyzátory

Jasové analyzátory jsou přístroje, které se příliš neliší od konvenčních jasoměrů. Senzorem světla je místo fotonky CCD snímač obsahující matici snímacích bodů v pravidelném uspořádání řádků a sloupců. Po dopadu světla, které je konvertováno pomocí expozice, mechanickou clonou nebo elektronickou uzávěrkou expozice, se na jednotlivých oddělených (elektricky izolovaných) snímacích generuje elektrický náboj ve formě vázaných párových nosičů. Díky vysokému stupni izolace tento náboj nezaniká po ukončení expozice, ale je uzavřen v akumulacním prostoru čipu dané buňky. Pomocí řídicích elektrod se dále náboj přesouvá přes celý čip postupně pixel po pixelu k měřicímu obvodu, který vybitím náboje změří počet vygenerovaných elektronů. Vygenerovaný signál je pak přímo úměrný intenzitě světla. Na rozdíl od fotočlánku se nosiče neodvádí do vnějšího obvodu okamžitě, ale akumulují se v izolovaných oblastech, proto počet nábojů je přímo úměrný délce expozice. U CCD snímačů se projevuje i spektrální vliv světla, který se posuzuje kvantovou účinností. Pro správnost měření se také mohou aplikovat Vλ filtry, které upraví spektrální citlivost CCD snímače na citlivost fotometrického pozorovatele.

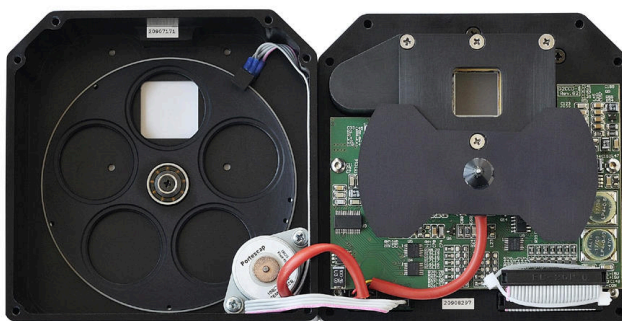
Pro přesnější měření se začaly využívat jasové analyzátory, které na základě pořízené fotografie dokáží pomocí softwaru určit celkový poměr jasu v určitých bodech na vymezeném prostoru. Co se týče přesnosti a požadovaných výsledků je tato metoda pro měření noční oblohy nejvhodnější. [10]

2.5. Přístroje pro měření nízkých úrovní jasů

V této kapitole jsou popsány nejběžnější přístroje pro měření nízkých jasů.

2.5.1. CCD kamera G2-4000

CCD kamera se používá k měření **nízkých úrovní jasů**. Díky její vysoké citlivosti, která je dosažena chlazeným CCD čipem, dále možností vkládat různé optické filtry před černobílý CCD snímač a možností měnit optiku například použít „rybí oko“ ke snímání jasů celého horního poloprostoru. Pro měření jasů noční oblohy je kamera vybavena bajonetem pro objektivy Canon a filtrovým kotoučem pro 5 filtrů. Do filtrového kotouče lze umístit pět různých optických filtrů (např. V_λ pro fotopické vidění, V'_λ pro skotopické vidění).



Obr.2 Filtrové kolo s pěti pozicemi a clonková závěrka v hlavě kamery G2-4000 [13]

Parametry CCD kamery

Model G2-4000 používá čtyřmegapixelový čtvercový čip CCD Kodak KAI-4022. Rozlišení čipu je $2\,056 \times 2\,062$ obrazových bodů (pixelů). Rozměry jednoho pixelu jsou $7,4 \times 7,4 \mu\text{m}$ a jeho obrazová plocha činí $15,2 \times 15,2 \text{ mm}$. Plná kapacita pixelu je přibližně 40 000 elektronů a plná kapacita výstupu asi 100 000 elektronů. Přibližný rozsah měřených jasů od $10\text{--}4 \text{ cd/m}^2$ do 10^3 cd/m^2 .

Programové vybavení

CCD kamera má šestnáctibitový A/D převodník s korelovaným dvojitým vzorkováním, které zajišťuje vysoký dynamický rozsah a čtecí šum na úrovni samotného CCD čipu. Rychlé rozhraní USB

dovoluje stáhnout snímek během několika sekund. Snímky pořízené CCD kamerou lze vyhodnocovat pomocí programu LUMIDISP. [8]

2.5.2. Canon EOS 350D

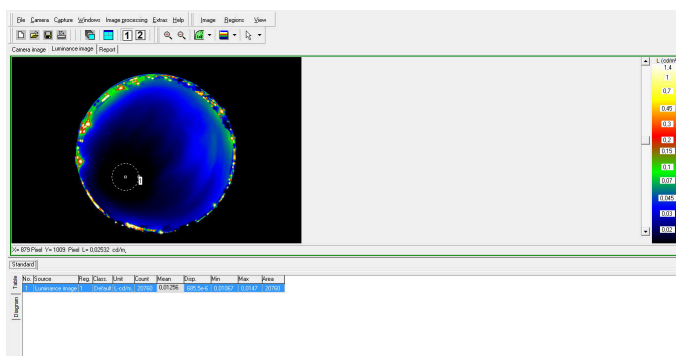
Canon EOS 350D je digitální jednooká zrcadlovka (kalibrovaná firmou LMK), která zaznamenává reálnou scénu v digitální podobě na paměťové médium pomocí CMOS snímače. U digitálního fotoaparátu je možné měnit různé objektivy tak, aby snímek zachycoval vyhodnocovanou situaci co nejvěrohodněji. Přístroj je nutné obsluhovat ručně po celou dobu měření, proto je vhodný pouze na krátkodobá měření jasů noční oblohy.



Obr.3 Canon EOS 350D [14]

Programové vybavení:

Ke zpracování naměřených snímků je určen software LMK 2000 viz Obr. 4. Jako podklad pro vyhodnocení jsou použita data ve formátu CR2, ve kterém je obraz zaznamenán ve formě tzv. RAW snímku, jenž obsahuje „surová data“ tzn., že zaznamenaná informace je uložena v původní podobě bez dodatečných korekcí, jak je tomu u jiných formátů (JPEG, BMP apod.). [8]



Obr.4 Software LMK (ADAM, 2012)

Při měření je možné rozšířit rozsah analyzátoru jasu a nastavit úroveň expozice např. na ± 2 , čímž se scéna zaznamená na tři samostatné snímky s úrovněmi $-2,00$ EV, $0,00$ EV, $+2,00$ EV.

Z naměřených a složených snímků se vytvoří jasový kanál, ve kterém je uložena informace o hodnotě jasu pro daný makropixel. Tento makropixel obsahuje 4 pixely (R, G1, B, G2), ve kterých je uložena hodnota zaznamenaná CMOS snímačem fotoaparátu. K přizpůsobení k relativní spektrální citlivosti křivce citlivosti lidského oka V_λ se používá numerická matice. Informace uložené v jasovém kanálu je dále možné zpracovávat a vyhodnocovat.

Využití analyzátoru jasu:

Ovládání měřicího zařízení je uživatelsky jednoduché a zařízení je možné využít v rámci terénního zjišťování jasů objektů. Analyzátor se využívá k vyhodnocování jasových poměrů na komunikacích, přechodech pro chodce, chodnících, v tunelech, vnitřních prostorech, obloze atd. [8]

2.5.3. Měřicí přístroje Unihedron – Sky Quality Meter

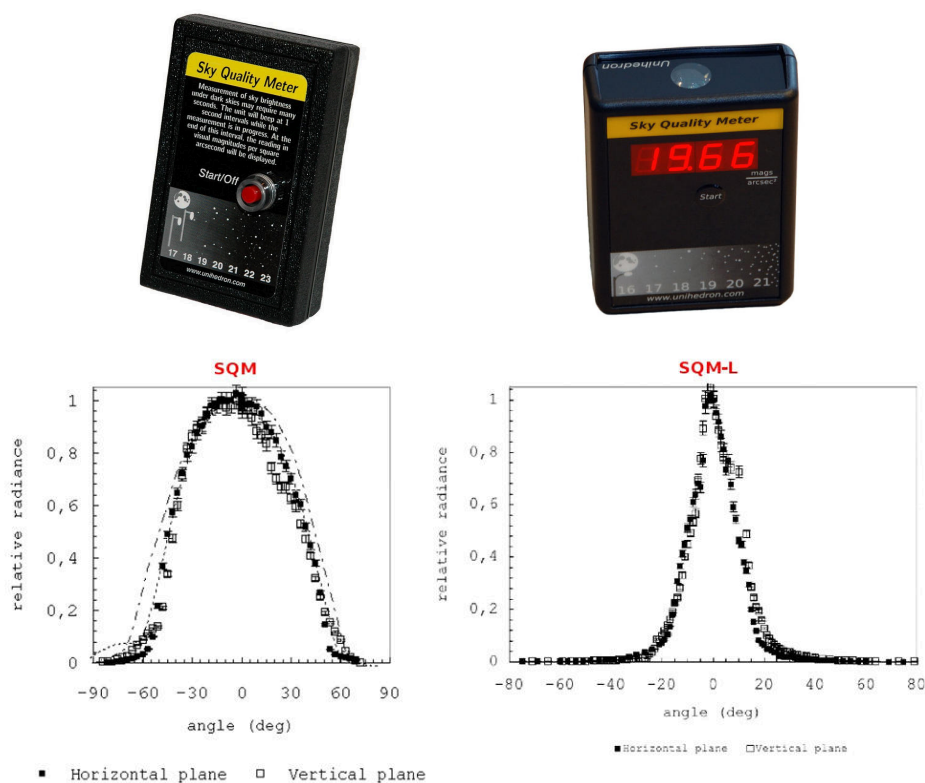
Sky Quality Meter dále SQM je zařízení k měření jasu oblohy ve viditelné části spektra v astronomických jednotkách. Senzor světla vyhodnocuje údaje o noční obloze a senzor teploty je určen ke korekci naměřených hodnot podle teploty okolí. Měření zobrazené na displeji udává výsledek v mag/arcsec^2 , výsledek lze převést na hodnotu jasu v cd.m^{-2} podle vzorce:

$$L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-0,4 \cdot m} \quad [\text{cd/m}^2]$$

Celý postup výpočtu a měření je popsán v kapitole 5.

SQM a SQM – L

Rozdíl mezi SQM a SQM – L je v jejich úhlové citlivosti, kterou výrobce uvádí pro SQM přibližně okolo 42° a u SQM -L, cca 20° dále popisuje obr.5. Přístroj SQM dokáže jednou hodnotou popsat velkou část oblohy a není náchylný na zkreslení, při měření stačí pozorovateli měřit pouze zenit. SQM – L je schopen detailně proměřit celou oblohu v různých částech, např. proměřováním všech světových stran a poté naměřené hodnoty můžeme zprůměrovat.



Obr.5 Porovnání přístrojů SQM vzhledem k jejich úhlové citlivosti [15]

SQM-LE

Přístroj SQM-LE má obdobné vlastnosti jako SQM-L ,pouze je obohacen programem SQM Reader ,kterým lze nastavit časové intervaly měření. Údaje ze senzorů světla a teploty jsou posílány do mikroprocesoru SQM – LE , přes ethernetový kabel do počítače a zaznamenávány do příslušného souboru. Prostřednictvím počítače se ovládá nastavení měření (doba měření, počet měření, frekvence). [8] [15]



Obr.6 Přístroj SQM-LE [15]

2.6. Astronomické metody měření jasu

Astronomická měření jasu v sobě zahrnují řadu metod od pozorování oblohy dle postupů pouhým okem, až po vyhodnocování snímků ze satelitů z oběžné dráhy.

Vizuální hvězdná velikost je přesně definována pomocí množství zářivé energie, která k nám od hvězdy přichází. Může nabýt libovolných reálných hodnot, kladných i záporných. Nejslabší hvězdy viditelné prostým okem mají hvězdnou velikost přibližně 6 mag, nejslabší hvězdy viditelné dalekohledem přibližně 25 mag. Pro vizuální hvězdnou velikost platí vztah:

$$m_v = -2,5 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad [12]$$

m_v - vizuální hvězdná velikost [mag]

I - hustota světelného toku příslušné hvězdy [$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_0 - referenční jasnost objektu o hvězdné velikosti 0 [mag] po průchodu atmosférou

$$I_0 = 2,54 \cdot 10^{-6} [\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Kontrast při závojevém jasu, zohledňující viditelnost hvězd

Závojový jas zvýší jas pozadí, zároveň dojde ke snížení kontrastu a viditelnosti kosmických těles.

$$K = \frac{L_o - L_b}{L_b} \quad [12]$$

K - je kontrast jasů [-]

L_o - je jas pozorované hvězdy [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]

L_b - je jas pozadí [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]

Tab.1 Orientační hodnoty pro viditelné objekty (závisí na jejich poloze vůči zemi)

Objekt	mag	Objekt	mag
Slunce	-26,6	Sirius	-1,6
Měsíc v úplňku	-12,6	Arcturus	-0,04
Venuše	-4,4	Rigel	0,12
Jupiter	-2,8	Polaris	1,97

2.6.1. Vizuální metody

Jedná se o metody, u kterých osoba nepotřebuje žádný měřicí přístroj a využívá svůj zrak, nebo dalekohled.

2.6.2. Určování MHV (mezní hvězdné velikosti) podle obrazců nebo přímou metodou

K určování nejslabší viditelné hvězdy na obloze se často používají speciální obrazce. Tyto speciální obrazce jsou přesně definované oblasti na obloze, které mají tvar trojúhelníku, někdy i čtyřúhelníku. Pozorovatel spočítá všechny hvězdy, ležící uvnitř, přidá k nim ty, které tvoří vrcholy obrazce a pokud nějaké leží přímo na pomyslných spojnicích, připočítá i tyto. Pak se podívá do převodní tabulky a z té zjistí, jaká MHV odpovídá spočítanému počtu hvězd. Tato metoda má několik nevýhod. Každý člověk má jinak citlivé oči na různé vlnové délky, různé barvy. Také hvězdy, které leží příliš blízko u sebe se špatně rozlišují. K pozorování je potřeba mít nejnovější verzi převodních tabulek. Pokud je to možné, mělo by se porovnání dělat za zcela bezoblačné noci. Další méně přesná je metoda přímá. Pozorovatel sleduje vybranou část oblohy a zakreslí si polohu podle nejslabší viditelné hvězdy. Poté z katalogu určí MHV. Pozorování může zkreslit vliv Mléčné dráhy a zrak pozorovatele.

2.6.3. Hodnocení oblohy podle Bortle

Na základě metody, kterou publikoval John E. Bortle (2001) viz. Tab. 2 lze hodnotit jas oblohy od stupně 1 (skutečně tmavá obloha) do stupně 9 (jasná obloha velkoměsta). Metoda v sobě zahrnuje pozorování viditelnosti objektů na obloze i viditelnost předmětů na zemi. Pokud bychom porovnávali například viditelnost oblohy v podmínkách České republiky, tak stupeň 1 se zde téměř nevyskytuje a stupeň 9 popisuje možný jas oblohy v centru Prahy.

Tab. 2 Hodnocení oblohy podle Bortle (2001) [5]

Stupeň	Popis viditelnosti jednotlivých objektů na obloze
1	Vynikající, skutečně tmavá obloha Zvřetníkové světlo, protisvit a zodiakální pás jsou viditelné - zvřetníkové světlo bije do očí a zodiakální pás se táhne přes celou oblohu. M33 je velmi nápadná a může být viditelná i přímým pohledem. Mléčná dráha v oblasti Štíra a Střelce je tak jasná, že na zem vrhá zřetelné mlhavé stíny. MHV volným okem se pohybuje až mezi 7,5-8mag (!), přítomnost Jupitera a Venuše na obloze může působit rušivě. Airglow je zřetelné podél horizontu. S 30cm dalekohledem se můžete dostat přes 17. magnitudu, zatímco 50cm dalekohledem a vhodným zvětšením dokonce až k 19. magnitudě (!). Pokud pozorujete na travnatém stanovišti obklopeném stromy, váš dalekohled a společníci téměř nejsou vidět. Tohle je pro pozorovatele Nirvána!
2	Skutečně tmavá obloha Airglow může být slabě patrné podél obzoru a M33 je nápadná a snadno viditelná. Letní Mléčná dráha má při pohledu volným okem velmi bohatou strukturu. Zvřetníkové světlo po soumraku a před úsvitem je tak jasné, že může vrhat slabé stíny a jeho barva se může jevit zřetelně žlutější než modrobílá Mléčná dráha. Mraky kdekoli na obloze vypadají jako černé díry ve hvězdném pozadí. Svůj dalekohled vidíte jenom neurčitě, pokud se nepomítá na pozadí oblohy. Mnoho Messierových kulových hvězdokup je zřetelně viditelných pouhým okem. Neozbrojeným okem lze vidět hvězdy mezi 7 a 7,5mag, zatímco 30cm dalekohled se dostane až k magnitudě okolo 16,5.
3	Venkovská obloha Známky světelného znečištění jsou viditelné podél obzoru. Mraky mohou být slabě nasvícené nad nejjasnějšími místy u horizontu, ale nad hlavou jsou tmavé. Mléčná dráha je bohatá a strukturovaná, kulové hvězdokupy jako M4, M5, M15 a M22 jsou všechny zřetelně viditelné pouhým okem. M33 je snadno viditelná bočním pohledem. Zvřetníkové světlo je velmi výrazné na jaře a na podzim, kdy po soumraku a před úsvitem dosahuje do výšky 60 stupňů nad obzor a může být slabě patrná i jeho barva. Váš dalekohled je z deseti metrů sotva vidět. MHV pouhým okem je mezi 6,5 a 7mag a 30cm dalekohled s vhodným zvětšením dosáhne až k 16. magnitudě.
4	Venkovská/příměstská obloha Nápadné "čepice" světelného znečištění jsou vidět nad sídly v mnoha směrech. Zvřetníkové světlo je zřetelné, ale za soumraku či úsvitu nedosahuje ani poloviny cesty od horizontu k zenitu. Mléčná dráha vysoko nad obzorem je působivá, ale kromě nejvýraznější struktury postrádá detaily. M33 je obtížně viditelná bočním pohledem a jen pokud je výše než 50 stupňů nad obzorem. Mraky ve směrech zdrojů světla jsou nasvícené, ale jen mírně a přímo nad hlavou zůstávají tmavé. Váš dalekohled je i z dálky viditelný. Mezní hvězdná velikost volným okem je mezi 6 a 6,5mag a 30cm dalekohled se středním zvětšením dosáhne až na hvězdy s magnitudou kolem 15,5.
5	Příměstská obloha Jenom náznaky zvřetníkového světla jsou vidět za nejlepších jarních a podzimních nocí. Mléčná dráha je velmi slabá či úplně neviditelná poblíž obzoru a i vysoko nad hlavou se zdá vybledlá. Zdroje umělého světla jsou viditelné ve většině směrů a na většině míst oblohy se mraky jeví znatelně světlejší než samotné nebe. MHV se pohybuje mezi 5,5 a 6 mag. a 30cm dalekohled dosáhne k magnitudám kolem 14,5 až 15.
6	Světlá příměstská obloha Žádné známky zvřetníkového světla nejsou patrné, ani za nejlepších nocí. Náznaky Mléčné dráhy jsou zřejmé pouze poblíž zenitu. Obloha do výšky 35 stupňů nad horizont má světlý šedobílý nádech. Mraky kdekoli na nebi se jeví poměrně jasně nasvícené. Nemáte problém vidět okuláry a ostatní příslušenství odložené na stole. M33 není viditelná bez pomoci triedru a M31 je jen málo nápadná prostým okem. MHV volným okem je kolem 5.5 a 30cm dalekohled dosáhne při použití středního zvětšení k magnitudě 14 až 14,5.
7	Příměstská/městská obloha Celé nebe má mlhavý, šedivý nádech. Silné zdroje umělého světla jsou patrné ve všech směrech. Mléčná dráha je téměř nebo úplně neviditelná. M31 a M44 mohou být spatřeny pouhým okem, ale jsou velmi nenápadné. Mraky jsou jasně nasvícené. I ve středně velkém dalekohledu jsou jasné Messierovy objekty pouze vybledlé stíny své skutečné podoby. MHV je zhruba 5 pokud se opravdu snažíte a 30cm dalekohled sotva dosáhne 14. magnitudy.
8	Městská obloha Obloha září šedobílou nebo oranžovou barvou, novinové titulky jsou bez problémů čitelné i bez zdroje světla. M31 a M44 jsou sotva viditelné zkušeným pozorovatelům za dobré noci a pouze jasné Messierovy objekty jsou dosažitelné středně velkým dalekohledem. Některé z hvězd známých souhvězdí jsou obtížně viditelné nebo úplně chybí. Pouhým okem můžete zachytit hvězdy do 4.5 magnitudy pokud víte, kam se dívat a hvězdný limit v 30cm dalekohledu je zhruba 13.mag.
9	Obloha uvnitř velkoměsta Celá obloha je jasně osvětlená a to i v zenitu. Mnoho hvězd tvořících známá souhvězdí je neviditelných a některá slabší souhvězdí, jako Rak nebo Ryby nejsou vidět vůbec. Kromě Plejád není pouhým okem viditelný žádný Messierův objekt. Jediné nebeské objekty, které nabízí pěkný pohled v dalekohledu jsou Měsíc, planety a několik nejjasnějších hvězdokup (pokud je vůbec najdete). MHV je 4.0 nebo horší.

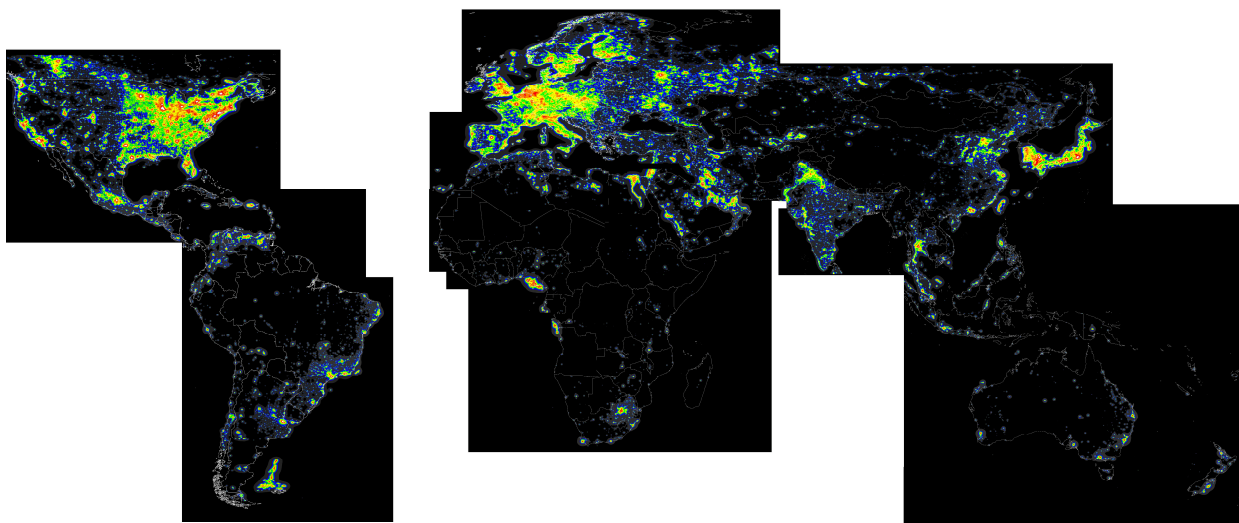
2.6.4. Fotografická metoda a měření fotoelektrickým fotometrem

Fotografická metoda spočívá ve fotografování vybrané části hvězdné oblohy fotoaparátem na stativu a klasický film, pro zpracování lze vhodným postupem určit přímo jasnost noční oblohy na daném místě. Postup pro vyhodnocení snímků je popsán v Liebl a Schuler (2000).

Měření fotoelektrickým fotometrem jsou již poměrně vzácná, ale je možné využít i archivních fotometrických měření, postup je velmi dobře popsán v Hanžl (2004). Pokud používáme standardní fotometrické filtry, je vhodné jasnost noční oblohy určovat z měření s filtrem V_λ . [6]

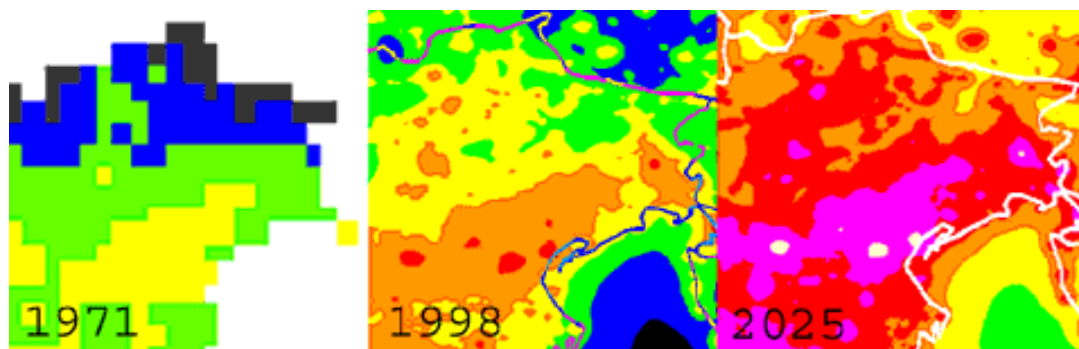
2.6.5. Měření z oběžné dráhy

Díky meteorologickému satelitnímu programu (DMSP) amerického letectva od počátku 70. let, je možné získávat mapy světelného toku do horního poloprostoru rozptýleného v atmosféře. Obr. 7 znázorňuje výskyt poměrného světelného znečištění na celé Zemi. Nejnovější výsledky publikoval Cinzano (2006).

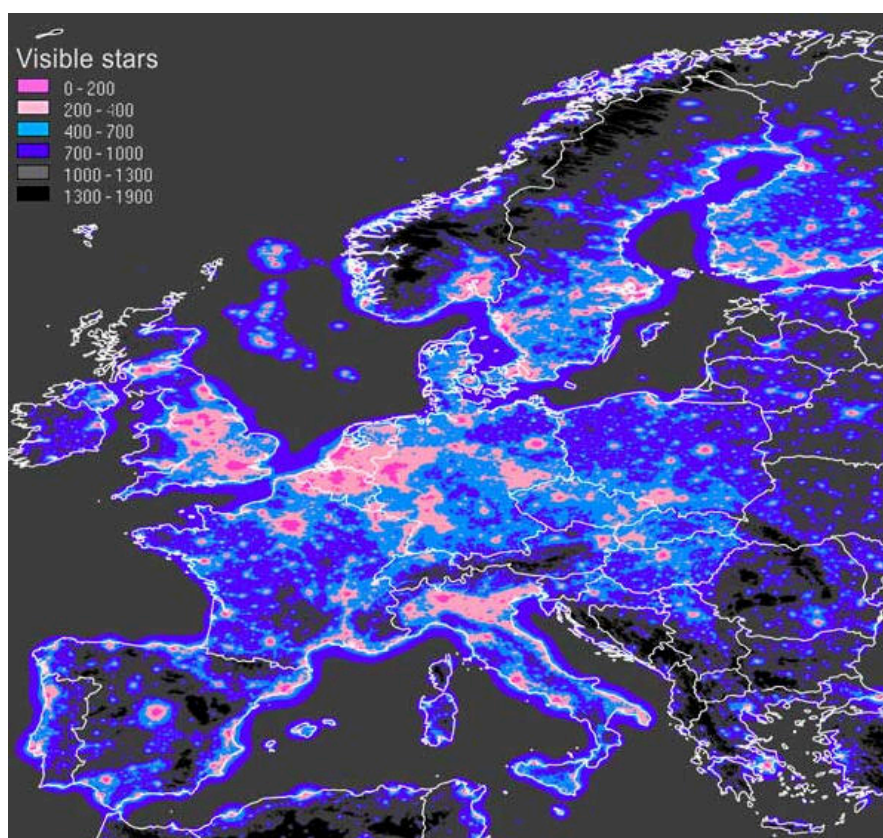


Obr.7 Jas umělé noční oblohy – atlas noční oblohy [7]

Příčinou znečištění je umělé světlo, odrážející se od molekul a aerosolů v atmosféře. Červeně vybarvené části na východě Spojených států a v Západní Evropě mají devítinásobnou umělou záři noční oblohy než je na přirozené obloze. V oranžových nebo červených oblastech už není viditelný středový pás naší Galaxie Mléčné dráhy. Díky vyhodnocování snímku již od 70 let Cinzano např. stanovil i předpověď jasu oblohy pro oblast Veneto viz Obr. 8. Na Obr. 9 je zobrazena mapa počtu viditelných hvězd ukazující, kolik hvězd je vidět na obloze pouhým okem. Barevné značení v levém horním rohu vyjadřuje množství viditelných hvězd. [7]



Obr.8 Růst jasu noční oblohy v oblasti Veneto 1971-2025 [7]



Obr.9: Mapa hvězdné viditelnosti [7]

3. Dynamika jasů noční oblohy

3.1. Závojevý jas oblohy

Závojevý jas oblohy je způsoben světelným tokem unikajícím primárně z umělých světelných zdrojů, tzn. svítidel venkovního osvětlení a sekundárně odrazem od povrchů na nichž dochází k odrazu světelného toku. Světelný tok se pak šíří atmosférou, která tvoří prostor kolem Země. Hmotnost atmosféry je gravitací držena až do vzdálenosti 30 až 40 tisíc km od Země a skládá se z plynů v poměru 78 % dusíku, 21 % kyslíku, 1 % ostatních plynů, vodních par a prachových částic a aerosolů. Rozložení hmotných částic v atmosféře je nerovnoměrné. Do 20 km od Země je soustředěno 90% hmotnosti atmosféry, a proto sama atmosféra není homogenní a je rozdělena na několik pásem s různými vlastnostmi. Změnu homogenity atmosféry ovlivňuje i rychlost a směr větru. Důležitou oblast tvoří pásmo do 15 km, kde se projevuje převážná většina klimatických změn, které mají vliv na světelné vlastnosti atmosféry. Nehomogenost přízemní vrstvy atmosféry dokládá například rozložení koncentrace NO₂ v prostoru a čase. [9]

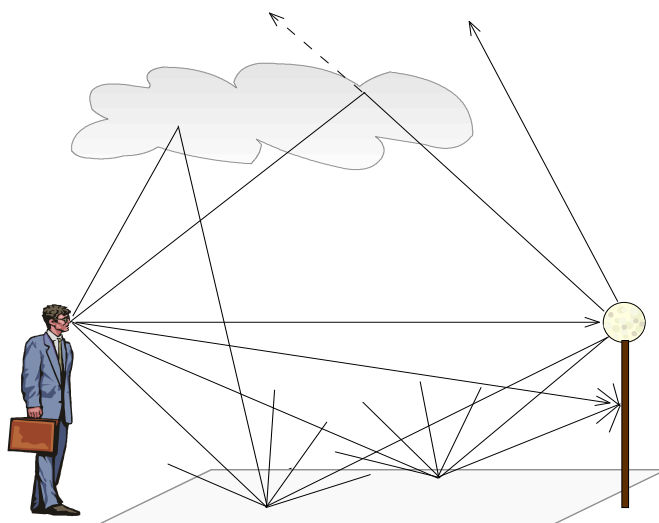
Celkový světelný tok lze popsat třemi činiteli :

$$\phi = \phi_{\alpha} + \phi_{\rho} + \phi_{\tau}$$

ϕ_{α} - Světelný tok absorbovaný

ϕ_{ρ} - Světelný tok odražený

ϕ_{τ} - Světelný tok prostoupený



Obr. 10 Rozptyl světla na částicích a vznik závojevého jasu [9]

3.1.1. Odraz Světelného záření

Odraz světelného záření nastává v atmosféře tehdy, když se záření vrací z povrchu beze změny kmitočtu jeho monochromatických složek. Difúzní povrch rozptyluje dopadající světlo do různých směrů, což přispívá k rovnoměrnosti světla v prostoru. Difúzní barva povrchu závisí na tom, které vlnové délky vstřebává a které odráží, odražená složka udává barvu povrchu.

3.1.2. Absorpce světelného záření

Absorpce vzniká na hmotném prostředí a transformuje se na jinou energii (tepelnou), je dána podílem toku pohlceného prostředím a toku dopadajícího. Pokud světelné záření dopadá na jakýkoliv povrch, část jeho energie je pohlcena atomy povrchu daného předmětu, který se velmi slabě zahřeje. Pohlcení světelného záření můžeme rozdělit na **selektivní absorpci**, kdy dochází k pohlcování pouze určité části spektra, na rozdíl od **absorpce neutrální**, která se projevuje při všech vlnových délkách. Pokud je záření pohlcováno jen v určitých částech spektra jedná se o **čárovou absorpci**, jestli je pohlcováno ve všech vlnových délkách, jde o **spojitou absorpci**.

Činitel absorpce α :

$$\alpha = 1 - \rho - \tau$$

Činitel absorpce α je doplňujícím činitelem v součtu činitelů odrazu ρ a prostupu τ tak, aby byla zachována energetická bilance světelného toku.

Vyjádřenou rovnici světelných toků dělíme celkovým tokem ϕ

$$\frac{\phi_\alpha}{\phi} + \frac{\phi_\rho}{\phi} + \frac{\phi_\tau}{\phi} = \alpha + \rho + \tau = 1$$

Pro neprůsvitné částice platí $\alpha + \rho = 1$. Pro tělesa pohlcující veškeré záření $\alpha = 1$ [1]

3.1.3. Prostup světelného záření

Prostup světelného záření může být buď přímý, nebo rozptylový (difúzní). Rozptylový prostup lze rozdělit podle rozložení světelného toku na rovnoměrně rozptýlený, u kterého je vystupující záření prostorově stejně rozděleno pro všechny směry, do kterých je záření vyzařováno a směrově rozptýlný, kde vystupující záření v určitém směru převažuje. Smíšený prostup je kombinací směrově rozptýleného a rovnoměrně rozptýleného prostupu. [1]

3.2. Přírodní obloha v noci

Za bezměsíčných nocí zůstává obloha světlá, a to hlavně blízko obzoru, v malých úhlových výškách. Je to hlavně proto, že řídký vzduch ve výškách nad sto kilometrů slabounce svítí. V různých nocích a letech je takový svit různě silný. Závisí na tom, kolik toho a co se děje na Slunci. Nejsilnější svit je během období s velkým počtem slunečních skvrn a erupcí. Přes den se působením srážek se slunečními částicemi a krátkovlnným zářením vzduch částečně ionizuje. V noci pak dochází k postupné rekombinaci nabitých částic, doprovázené svícením. Vzduch se stává méně ionizovaným a jeho svícení slábne, takže před svítáním je obloha temnější než po setmění. Méně se projevuje sluneční světlo rozptýlené na prachových částicích v meziplanetárním prostoru. K jasů nebe přispívají i miliardy hvězd, ale jejich vliv lze zanedbat. Je-li vzduch velmi průzračný, pak jas oblohy nestoupne ani o polovinu, když je na nebi Měsíc v první nebo poslední čtvrti. Při běžných dohlednostech pod 30 km Měsíc v první čtvrtině zvýší jas přírodního nočního nebe velmi nápadně, více než na dvojnásobek. [4]

3.3. Umělé zvyšování jasů nočního nebe

Světlo, jdoucí ze svítidel nebo z osvětlených ploch směrem nahoru, se cestou ovzduším rozptyluje zcela obdobně jako sluneční světlo jdoucí dolů. Jde-li světlo od země strmě vzhůru, rozptýlí se ho v extrémně průzračném vzduchu jen 20 %, za běžnějších podmínek spíše celá třetina. Jde-li méně strmě nahoru, projde delší cestou ovzduším a rozptýlí se ho více. Nejvíce je zajímavé světlo rozptýlené k Zemi, které je pro člověka viditelné. Jde-li světlo původně strmě vzhůru, pak jeho rozptýlená část pokračuje většinou strmě vzhůru. Jde-li světlo nízko nad obzor rozptýlí se prakticky všechno, polovina nahoru a druhá polovina dolů. Jas nebe je zvýšen o polovinu světla jdoucího původně do úhlových výšek 10° a níže. [4]

3.4. Jas nebe v aglomeraci

Zvýšení jasu nočního nebe lze pozorovat v rozsáhlé, spojitě osídlené aglomeraci a mimo ně mezi vesnicemi, protože jejich světlo směřuje kolmo k nim a rozptýlí se ho nejvíce. Světlo z osvětleného terénu míří do všech směrů vzhůru, do těch blízko obzoru ho jde ale nejméně. Je to proto, že osvětlovaná plocha (např. náměstí) zaujímá malý prostorový úhel, pokud se pohled blíží vodorovnému, pak se i prostorový úhel zabíraný vodorovným náměstím blíží nule. Prostorový úhel je úměrný sinu úhlové výšky, do které světlo jde.

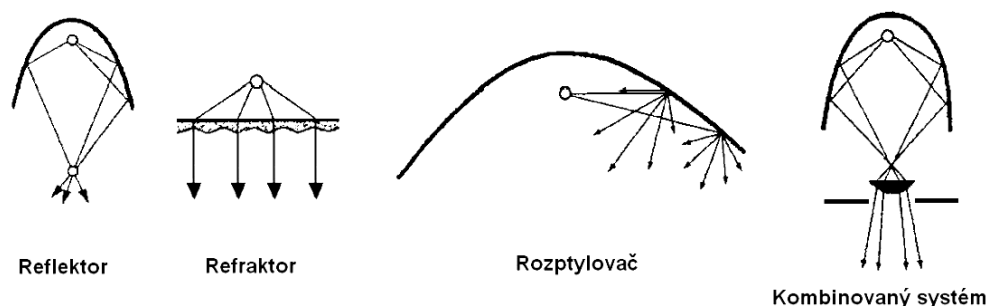
Světlo ze samostatných lamp má jiné rozmístění svítivosti jdoucích do nebe, obvykle opačně než terén, většina takového nežádoucího světla do malých úhlových výšek strmým směrem téměř nic nestoupá. Svítidla tvaru mléčných koulí mají jiné rozdělení světla než terén - světla vodorovného je stejně jako svislého. Pouliční lampy přispívají k jasů nebe ve velkých městech přinejmenším třikrát více než stejné množství světla rozptýleného vzhůru od terénu. Dále od měst (např. ve vesnicích) přispívají 10x až 30x více. [4]

4. Kvantifikace vyzařování světelného toku do horního poloprostoru

Světelný tok směřující do horního poloprostoru je složen z toku směřujícího do horního poloprostoru přímo a ze světelného toku odraženého.

4.1. Rozložení světelného toku svítidel

Svítidla jsou zařízení sloužící k prostorovému rozložení nebo změně spektrálního složení světla. Dalším účelem je ochrana daného světelného zdroje a jeho elektrických součástí, před nebezpečným dotykem živých částí. Ke změně prostorového rozložení světelného toku zdroje lze aplikovat některý ze základních tipů světelně činných částí viz. Obr. 11.



Obr. 11 Základní typy světelně aktivních ploch [2]

Světelná účinnost svítidla

Světelná účinnost svítidla vyjadřuje hospodárnost využití světelného zdroje ve svídle.

$$\eta = \frac{\phi_{sv}}{\phi_z} \cdot 100 \quad [\% ; \text{lm}, \text{lm}]$$

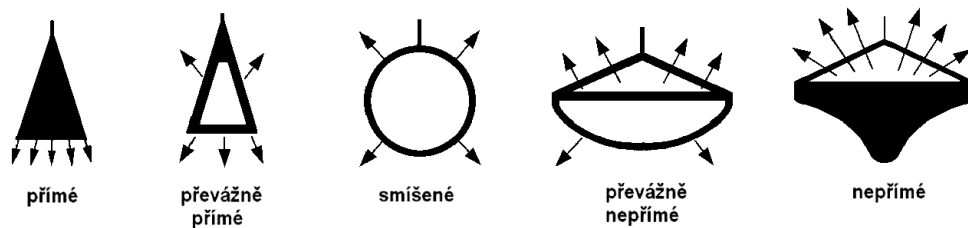
ϕ_{sv} - světelný tok svítidla

ϕ_z - instalovaný světelný tok

Podle rozložení světelného toku dělíme svítidla dle Tab. 3, Obr. 12

Tab. 3 Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku [1]

Označení svítidel	Světelný tok do dolního poloprostoru(%)	Světelný tok do horního poloprostoru(%)	Značení podle DIN 5040
přímé	90-100	0-10	A
převážně přímé	60-90	10-40	B
smíšené	40-60	40-60	C
převážně nepřímé	10-40	60-90	D
nepřímé	0-10	90-100	E



Obr. 12 Obrazové znázornění rozložení světelného toku [1]

4.2. Kvantifikace světelného toku vyzářeného na oblohu

Světelný tok vyzářený na oblohu lze popsat rovnicí:

$$\phi_o = \phi_H + \phi_D \cdot \rho_T \quad [9]$$

ϕ_o - Světelný tok vyzářený na oblohu

ϕ_H - Světlo vyzářené do horního poloprostoru

ϕ_D - Světlo vyzářené do dolního poloprostoru

ρ_T - Činitel odrazu světla

Svítilidlo s účinností 80%, přímé, směřuje světelný tok do dolního poloprostoru s 90% a do horního 10%, tedy :

$$\phi_D = 0,8 \times 0,9 = 0,72$$

$$\phi_H = 0,8 \times 0,1 = 0,08$$

Pokud osadíme svítidlo zdrojem se světelným tokem 10 000 lm a činitel odrazu bude 25%, pak k obloze bude vyzářeno:

$$\phi_o = 0,08 \times 10000 + 0,72 \times 10000 \times 0,25$$

$$\underline{\underline{\phi_o = 2600lm}}$$

4.3. Závislost populace města a jas oblohy

Tab. 4 představuje zmapované hodnoty jas evropských měst v závislosti na počtu obyvatel. Podle vztahu níže lze vypočítat jas oblohy měřený pod úhlem 45°.

Tab.4 Vztah mezi populací a světelným tokem vyzářeným vzhůru pro evropská města. [3]

Populace ($\cdot 10^3$)	Relativní světelný tok vyzářený do horního poloprostoru (lm)		
	nízký	průměrný	vysoký
2	2	7	20
5	1,3	10	25
10	4	17	21
20	10,5	25	80
50	20	60	230
100	70	110	160
200	105	300	300
500	600	800	1000
1000	600	1000	1000
2000	2000	2000	2000

Výpočet průměrného jas pro město Šumperk

Počet obyvatel: 27 182

Rozloha města: 27.91 km^2

Vzdálenost mezi městem a místem měření : 3 km

$$L = C \cdot P \cdot d^{-2,5} \quad \left[\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} \right] \quad [3]$$

L – jas oblohy měřený pod úhlem 45°

C – faktor závisející na světelném toku dle počtu obyvatel a dalších faktorech jako odraz od země

d – vzdálenost místa měření

Tab. 5 Vybrané hodnoty pro dané město z tab. 4. [3]

Populace ($\cdot 10^3$)	Relativní světelný tok vyzářený do horního poloprostoru (lm)		
	nízký	průměrný	vysoký
27,182	12,77	33,38	115,9

$$L = 33,38 \cdot 27182 \cdot 3000^{-2,5}$$

$$L = 0,00184 [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Výsledek je nutno brát pouze jako orientační (viz měření kap. 5), měřené hodnoty jasu jsou závislé na aktuálním stavu oblohy a době kdy je měření prováděno. Intenzita jasu vyzářeného městem se neustále mění.

4.4. Omezení světelného toku vyzářeného do horního poloprostoru

Světlo vyzářené do horního poloprostoru zvyšuje jas oblohy. Zdrojem mohou být např. reklamní poutače, osvětlení památek, světlo vyzářené z oken domácností nebo nákupních center a v neposlední řadě osvětlení pozemních komunikací. V praxi lze využít několik opatření pro minimalizaci tohoto světla :

a) Vypínáním a regulací osvětlovacích soustav

Vypínání osvětlovacích soustav je myšleno jen u lokalit neplnících bezpečnostní funkci např. reklamní poutače nebo dekorativní osvětlení. Tam, kde je kladen důraz na bezpečnost, je nutná rovnoměrnost osvětlení. Doporučuje se regulovat osvětlení soustavy v závislosti na frekventovanosti osvětlované plochy.

b) Optimalizací optických vlastností daného prostoru

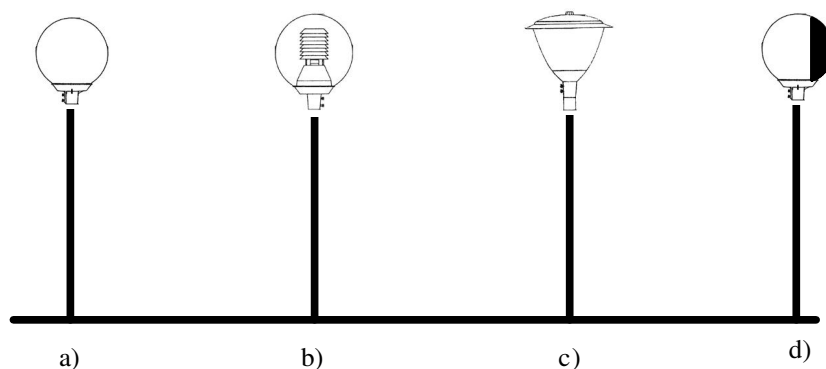
Na směr světelného toku ze světelného zdroje mají vliv optické parametry prostředí. Velikost světelného toku, který je rozptýlen na své dráze do horního poloprostoru je možné omezit použitím vhodného krytí, které zamezuje vniknutí nečistot do optické části svítidla, čímž dochází k menšímu rozptylu světelného toku na optickém krytu. Osvětlovaný prostor by měl mít co nejlepší difúzní vlastnosti, tedy tmavý nelesklý povrch. Vliv má také čistota vzduchu v osvětlovaném prostoru. Platí, že čím více nečistot v prostoru, tím více se bude světelný tok odrážet nevhodným směrem. Distribuci světelného toku do míst za hranicemi osvětlované oblasti můžeme omezit použitím fyzických zábran (např. stromky, ploty, žaluzie oken domů).

c) Účinným směřováním svítidel

K osvětlování svislých a vodorovných ploch se doporučuje používat svítidla, která jsou nasměrována tak, aby světelný tok směřoval přímo dolů nebo alespoň aby byl směřován přímo na osvětlovaný objekt. Pokud to není technicky možné a použijeme svítidla nasměrovaná vzhůru, pak je nutné využít clon, které omezují neefektivně distribuovanou složku světla.

d) Nahrazením svítidel

Doporučuje se používat technická zařízení, která jsou schopna eliminovat složku světelného toku vyzařeného přímo do horního poloprostoru. Např. parkové svítidlo a) vyzařuje přímo do horního poloprostoru přímo 60% světelného toku a způsobuje oslnění. Proti oslnění je svítidlo v případě b) vybaveno prstencovou clonou, vyrobenou z čistého leštěného hliníku. K omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru slouží vrchlík svítidla v případě c). Pro omezení světelného přesahu je možné svítidlo vybavit clonou, která zamezí šíření světla v nežádoucím směru d.)[12]



Obr. 13 Omezení distribuce technickými prostředky [12]

e) Filtrováním postranních pásem viditelného záření světelných zdrojů

Při astronomickém pozorování lze použít speciálních LPR filtrů zvyšujících kontrast mezi jasnem pozorovaných objektů a jasnem pozadí oblohy.

f) Rekonstrukcí osvětlení

Je třeba zhodnotit provozní a pořizovací náklady podle toho zvolit vhodný typ svítidel. Návrh by měl provádět kvalifikovaný světelný technik, přičemž by se měla měnit celá řada svítidel. Postupná záměna by mohla mít za následek porušení hladiny i rovnoměrnosti osvětlení . [11] [12]

5. Jasová analýza noční oblohy nad průmyslovou aglomerací

Pro měření jasů noční oblohy jsem si zvolil oblast v blízkosti mého bydliště města Šumperk. K měření mi byl zapůjčen přístroj od firmy Unihedron - Sky Quality Meter (SQM).

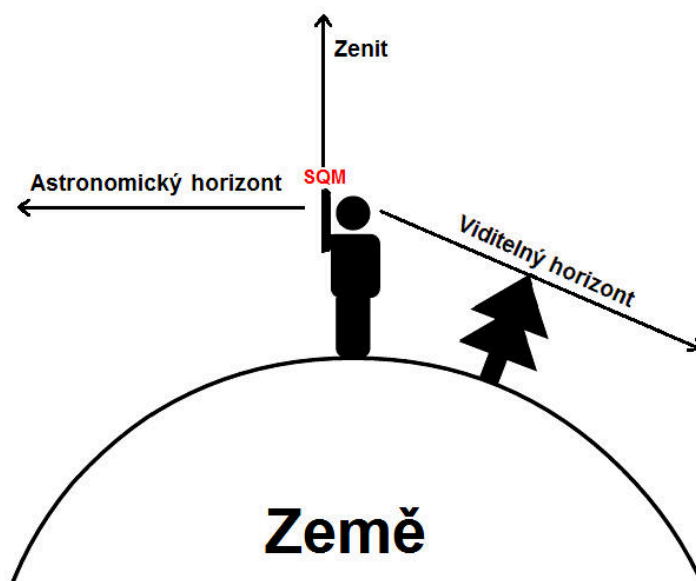
5.1. Měření jasů noční oblohy v okrese Šumperk

Unihedron - Sky Quality Meter (SQM) měří jas světelných paprsků jdoucích z měřené části oblohy. Jas světelných paprsků se měří v mag/arcsec^2 . Pro převod z magnitudy na jas byl použit vzorec:

$$L = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-0,4 \cdot m}$$

L – jas $[\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$
m – naměřený jas (magnituda) $[\text{mag/arcsec}^2]$

SQM přístroj je snadno přenosný, díky tomu je možné rychlé měření a za velmi krátkou dobu tak změřit více lokalit. Obsluha měřicího přístroje si musí dát pozor na několik faktorů, které by mohly měření zkreslit, jako jsou přímé zdroje světla nebo jejich odrazy. Dále je nutno hlídat čistotu měřicího čidla. Dalším důležitým faktorem je teplota měřicího přístroje, kdy je nutné udělat během krátké doby více měření než se přístroj dostane na provozní teplotu. Vlastní měření se provádí přímým naměřením přístroje na zenit viz obr.14.



Obr. 14 Popis měření se SQM přístrojem

Popis měřících stanovišť:

- Kouty nad Desnou

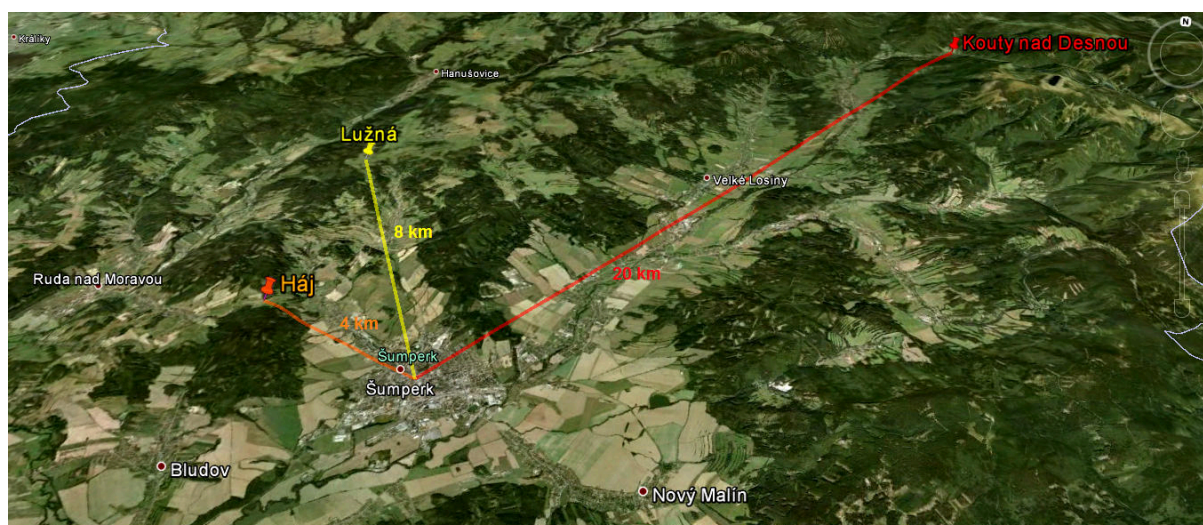
- Přibližná nadmořská výška: 640 m
- Souřadnice: Zeměpisná šířka $50^{\circ} 6'13.89''\text{S}$
Zeměpisná délka $17^{\circ} 7'56.77''\text{V}$

- Háj

- Přibližná nadmořská výška: 500 m
- Souřadnice: Zeměpisná šířka $49^{\circ}58'52.07''\text{S}$
Zeměpisná délka $16^{\circ}55'36.09''\text{V}$

- Lužná

- Přibližná nadmořská výška: 620 m
- Souřadnice: Zeměpisná šířka $50^{\circ} 1'52.22''\text{S}$
Zeměpisná délka $16^{\circ}55'49.97''\text{V}$



Obr. 15 Mapa měřících stanovišť

Tab. 6 Naměřené hodnoty

Měřicí stanoviště Kouty nad Desnou				
Doba měření	Oblačnost	Bortle	Jas oblohy (mag)	Přepočet mag na cd/m^2
13.3.-21:15	8/8	6	19,63	0,0015185
17.3.-20:45	1/8	5	20,67	0,0005826
22.3.-23:15	0/8	4	21,07	0,0004031
1.4. -2:30	4/8	7	18,59	0,0039575
Měřicí stanoviště Háj				
Doba měření	Oblačnost	Bortle	Jas oblohy (mag)	Přepočet mag na cd/m^2
13.3.-22:30	8/8	6	19,21	0,0022357
17.3.-21:45	1/8	5	20,58	0,000633
22.3.-22:30	0/8	4	20,93	0,000458
1.4. -1:30	5/8	7	18,25	0,005412
Měřicí stanoviště Lužná				
Doba měření	Oblačnost	Bortle	Jas oblohy (mag)	Přepočet mag na cd/m^2
13.3.-23:15	8/8	6	19,78	0,0013225
17.3.-22:45	1/8	5	20,93	0,0004585
22.3.-21:30	0/8	4	21,35	0,0003114
1.4. -0:15	5/8	7	18,87	0,003058

Postup vlastního měření

Při měření jsem zohlednil faktory s největším vlivem na vlastní měření, jako jsou stav oblohy a fáze měsíce. Informace o aktuální stavu oblohy byly získány z meteorologických stanic Šerák a Ústí nad Orlicí. Oblačnost je udávána v osminách (1/8 jasno, 8/8 zataženo). Aktuální stav oblohy jsem doplnil fotografiemi pořízenými fotoaparátem Sony Cyber-shot HX9V.

Graf 1: Průměrné hodnoty jasů v měřené oblasti

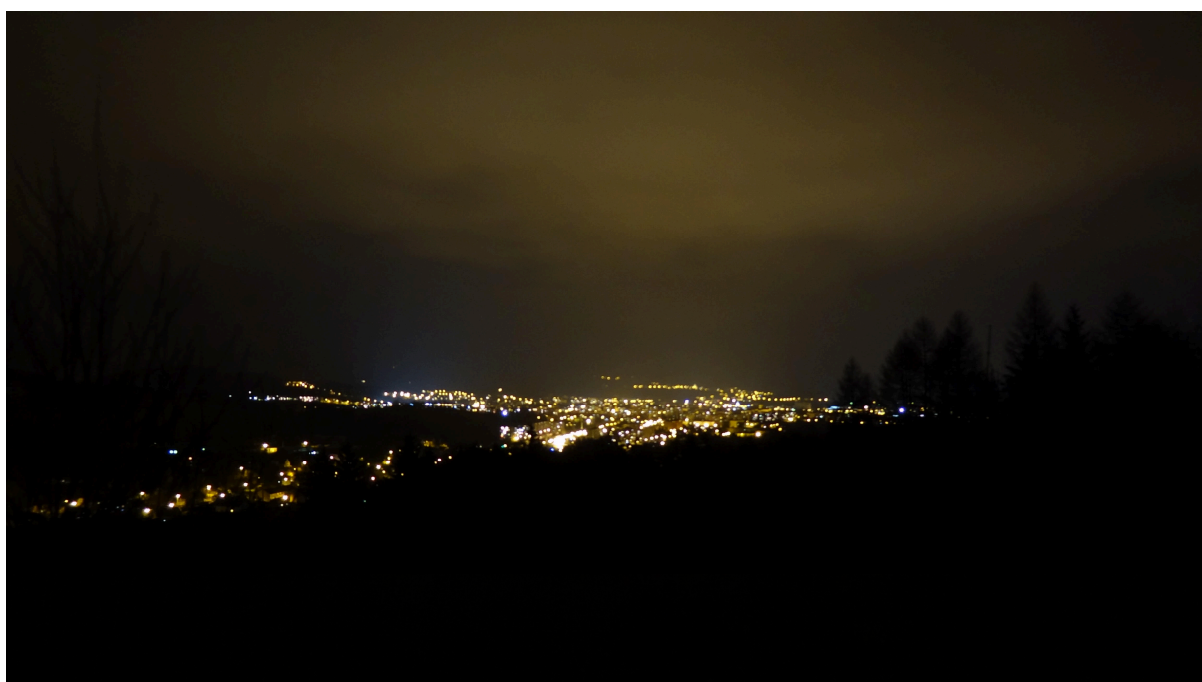
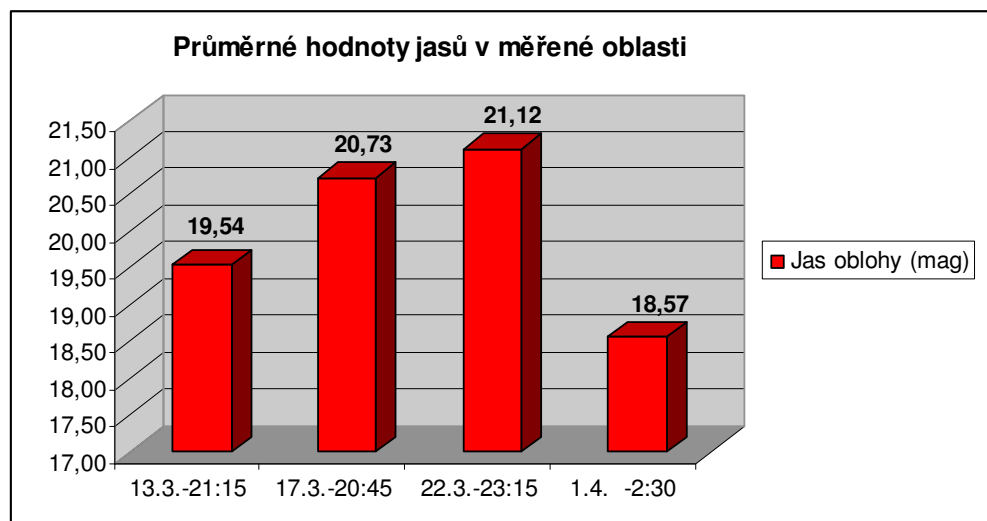


Foto 1: Závojevý jas oblohy nad městem Šumperk při oblačném počasí měřící stanoviště Háj, dne 13. 3. 2012

5.2. Vyhodnocení naměřených dat

Při měření 13.3. byly hodnoty ovlivněné silnou oblačností, viditelný byl i závojevý jas oblohy, který je zachycen na Fotu 2, byly naměřeny vysoké hodnoty jasu. Dne 17.3. při jasné obloze a osvětlenosti měsíce z 23% (ubývající srpek), byla patrná snižující se tendence hodnot jasů oblohy. Nejlepší výsledky byly dosaženy 22.3. za jasné oblohy, kdy měsíc byl ve fázi nov. Nejvíce bylo měření ovlivněno 1.4., kdy dorůstající měsíc osvětlil celou oblohu, a projevilo se to vysokými hodnotami jasu. Při porovnání všech 3 lokalit, bych pro astronomická pozorování, doporučil lokalitu Lužná, která po celou dobu vykazovala nejnižší hodnoty jasu nočního nebe. Další snímky z pozorování jsou součástí přílohy.

6. Závěr

Bakalářská práce se zabývá metodami posuzování kvality noční oblohy, ať už světelně – technickými, tak i astronomickými. Pro měření parametrů noční oblohy již existuje řada přístrojů od těch jednodušších např. SQM, kterých lze užít pro rychlé zmapování jasů velké části území, až po složitější jasové analyzátory doplněné o softwarovou podporu. Posuzovat kvalitu noční oblohy lze také bez měřicí techniky, např. vizuálními metodami podle Bortleho stupnice nebo MHV. I když se jedná o subjektivní metody, jsou vhodné pro doplnění měření a vypovídají o aktuálním zrakovém vjemu obsluhy měřicího přístroje. V práci je popsána dynamika jasu noční oblohy a světelné zdroje, které mají na ni vliv, jak umělé, tak přírodní, doplněné o možnosti snižování světelného toku do horního poloprostoru. Z vlastního měření je patrné, že velký vliv na osvětlenost nočního nebe má svit Měsíce a meteorologické podmínky. Stále rostoucí umělý jas noční oblohy je příznakem neúčelně využitého světla a vzhledem ke stále se zvyšujícím cenám elektrické energie roste i potřeba jej kvantifikovat a omezit .

Použitá literatura:

- [1] HABEL, J., a kol. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC PUBLIC, 1995. ISBN 800-901985-0-3.
- [2] PLCH, J. *Světelná technika v praxi*. Praha: IN-EL, 1999. ISBN 80-86230-09-0.
- [3] NARISADA, Kohei a Duco SCHREUDER. *Light Pollution Handbook*. Springer, 2004. ISBN 978-1-4020-2665-2.
- [4] HOLLAN, J. *Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*. 2004.
- [5] BORTLE, John E. *Introducing the Bortle Dark-Sky Scale*. [online]. 2000, 2001 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://media.skyandtelescope.com/documents/BortleDarkSkyScale.pdf>
- [6] Gráf, T. *Sborník z kurzu osvětlovací techniky XXV, Astronomické metody měření jasu oblohy, 2006*
- [7] CINZANO, Pierantonio. *Recent progresses on a second world atlas of the night-sky brightness: realistic models, tomography of light pollution, accurate validation methods and extended satellite data analysis*. Theine: ISTIL, [online]. 2006 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.inquinamentoluminoso.it/download/iau06cinzano.pdf>.
- [8] NOVÁK, T. a kol. *Přístroje pro dlouhodobé měření nízkých úrovní osvětleností a jasů*. [online]. 2010, roč. 2010, č. 3, s. 40-42 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41419.pdf>
- [9] SOKANSKÝ, K. a kol. *Racionalizace v osvětlování venkovních prostor*. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2005. Dostupné z: <http://www.csorsostrava.cz/publikace/racionalizace%20-%202005.pdf>.
- [10] BAXANT, P. *Kurz osvětlovací techniky XXV: Měření rušivého světla pomocí digitální fotografie*. Česká společnost pro osvětlování, 2006, s. 6-12. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/sborniky/Kurz_osvetlovaci_techiky_XXV.pdf.
- [11] SOKANSKÝ, K. a kol. *Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení*. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2008. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/publikace/Metodicke_pokyny_pro_obnovu,_provoz_a_udrzbu_ve_rejneho_osvetleni.pdf
- [12] SOKANSKÝ, K. a kol. *Zpráva o řešení projektu „Výzkum emisí světelného rušení vyvolaného veřejným osvětlením za účelem jeho omezení v dopravě měst a obcí“*. Ostrava, 2006.
- [13] CCD kamery pro astronomii: CCD kamery G2-2000 a G2-4000. MORAVSKÉ PŘÍSTROJE, a.s. [online]. 20.4.2012 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://ccd.mii.cz/art?id=361&lang=405>).

- [14] Fotografovani.cz: Canon EOS 350D - nadupaná zrcadlovka v praxi. BLUECUBE.CZ.
[online]. 2003 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z:
http://www.fotografovani.cz/art/forec_amater/Canon-350D-r.html.
- [15] Unihedron. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.unihedron.com/>.

Seznam příloh:

- Foto [1] *Jas oblohy nad městem Šumperk při jasné obloze (17.3.2012)*
- Foto [2] *Měsíc, ovlivňuje jas oblohy, Šumperk (6.4.2012)*
- Foto [3] *Měsíc, ovlivňuje jas oblohy, Šumperk (6.4.2012)*
- Foto [4] *Viditelnost hvězd nad centrem města Šumperk při skoro jasné obloze (13.3.2012)*
- Foto [5] *Viditelnost hvězd při skoro jasné obloze a západu Slunce nad centrem města Šumperk (23.4.2012)*

Přílohy:



Foto [1] *Jas oblohy nad městem Šumperk při jasné obloze (17.3.2012)*



Foto [2] *Měsíc, ovlivňuje jas oblohy, Šumperk (6.4.2012)*

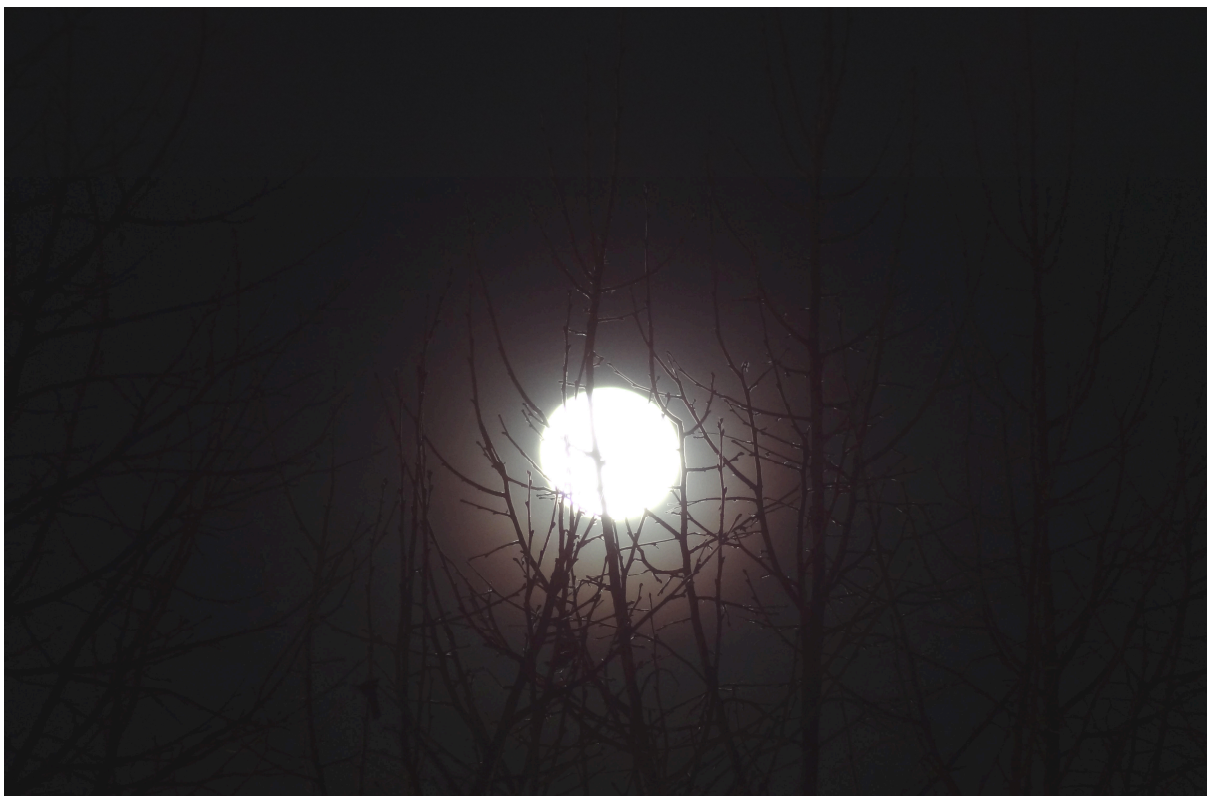


Foto [3] *Měsíc, ovlivňuje jas oblohy, Šumperk (6.4.2012)*



Foto [4] *Viditelnost hvězd nad centrem města Šumperk při skoro jasné obloze (13.3.2012)*



Foto [5] *Viditelnost hvězd při skoro jasné obloze a západu Slunce nad centrem města Šumperk (23.4.2012)*